WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

От шахматных программ к специализированным шахматным компьютерам

А. К. ДЬЮДНИ

ЕСЛИ бы программа CRAY BLITZ могла запоминать не только шахматные ходы, она навечно сохранила бы в своей памяти события 15 октября 1985 г., когда состоялся последний тур шахматного чемпионата Северной Америки среди компьютеров, приуроченного к очередной конференции Ассоциации специалистов по вычислительной технике. Перед участниками на сцене зала заседаний отеля «Радиссон» в Денвере было установлено пять столов, отделенных от зрителей барьером. За каждым столом напротив друг друга сидели представители двух команд — программисты и консультанты. Иногда они шутили, а иногда их лица выражали ожидание и глубокие раздумья. Над каждым столом висели экраны, на которые проектировались позиции на шахматной доске.

В турнире принимали участие 10 программ — претендентов на звание чемпиона Северной Америки. Их названия звучат странно и непривычно, что свидетельствует о различном происхождении программ и о честолюбивых замыслах их создателей: AWIT, BEBE, CHAOS, CRAY BLITZ, HITECH, INTELLIGENT SOFTWARE, LACHEX, OSTRICH, PHOENIX и SPOC (см. таблицу на с. 95). В этом списке отсутствуют названия трех программ из числа тех, что имели наибольший успех на компьютерной шахматной арене в течение нескольких последних лет: BELLE, CHESS 4.7 и NUCHESS.

Самый большой интерес вызвала встреча между CRAY BLITZ и HITECH. Первую программу за столом соревнований представляют Р. Хьят из Южно-Миссисипского университета, А. Гауер, шахматный эксперт из того же университета и Х. Нельсон из Лоуренсовской национальной лаборатории в Ливерморе. Напротив: Х. Берлинер из Университета Карнеги — Меллона и М. Кемпбелл, один из аспирантов того же университета, шахматист высокого класса. Берлинер выступает сразу в двух лицах — и как шахматный консультант, и как программист в команде HITECH. По мере того как развиваются события на доске, напряжение возрастает. Берлинер часто встает из-за стола с усталой улыбкой. Как-то проходя мимо меня, он пробормотал: «Уж слишком это напоминает мне то время, когда я сам играл на чемпионатах США!» (В течение нескольких лет в конце 50-х — начале 60-х годов Берлинер входил в десятку лучших игроков США.)

В отличие от чемпионата страны, когда в игровом зале царит мертвая тишина, этот турнир протекает в оживленной атмосфере. Кругом слышатся разговоры, иногда даже смех, постукивают клавиши терминалов, игру постоянно комментирует в микрофон темпераментный по натуре судья М. Валво, консультант по вычислительной технике, мастер международного класса по шахматам из Седона (шт. Аризона): «Слабый ход черных. Король все еще находится в слишком уязвимом положении, а сдвоенные пешки на c5 и c6 затрудняют защиту». Рядом член команды CRAY BLITZ воскликнул, ни к кому конкретно не обращаясь: «Забавно! Я думал, она сыграет королем на f3». Шахматисты-профессионалы пока еще замечают погрешности в игре компьютера, а программисты в свою очередь все еще удивляются способностям своих творений.

На протяжении всего заключительного этапа игры было видно, что HITECH имеет преимущество над своим соперником. В начале игры CRAY BLITZ попала в трудное положение, выйти из которого можно было либо с материальными потерями, либо уступив инициативу. В сложившейся ситуации CRAY BLITZ была вынуждена неудачно расположить свои пешки. HITECH продолжала развивать преимущество.

К полуночи почти все было кончено. Большинство игр завершилось, и специалисты настаивали, чтобы победа была присуждена программе HITECH. Команда CRAY BLITZ просила судью Валво разрешить им сдаться. Он предложил сделать еще два хода: если положение белых не улучшится, то они могут признать себя побежденными. Положение не улучшилось, и они сдались. HITECH стала чемпионом Северной Америки, по существу королем компьютерных шахмат. И хотя CRAY BLITZ пока остается официальным чемпионом мира (этот титул был завоеван ею в 1983 г. и защищать его предстоит лишь в июне этого года), победа HITECH наряду с ее победами в трех других турнирах производит внушительное впечатление. На сегодняшний день HITECH почти наверняка является самой сильной в мире компьютерной программой, играющей в шахматы.

Представители соперничавших команд улыбаются, обмениваются мнениями о только что закончившемся турнире. Повлияло ли на его исход отсутствие программ BELLE, CHESS 4.7 и NUCHESS? «Конечно, было бы интересно посмотреть на игру BELLE и некоторых других программ, — сказал один из организаторов турнира, — но я не думаю, что исход соревнований был бы иным». Он отметил, что по составу программ и машин, принимавших участие в турнире, между чемпионатом Северной Америки и чемпионатом мира почти нет разницы. Разговор перешел к обсуждению поединка между Каспаровым и Карповым, затем шахматной теории. «Я не шучу, — говорит, очевидно, сведущий участник разговора, — программа, способная анализировать ситуации на 20 ходов вперед и оценивающая позиции лишь с точки зрения материального преимущества, может обыграть любого гроссмейстера». Возник спор, но ненадолго. Уже через несколько минут зал опустел. Чемпионат Северной Америки завершился.

Высказывание, касающееся способности программы, предвидящей развитие игры вперед на 20 ходов, заслуживает внимания. Графически шахматную игру можно представить в виде разветвленного дерева, состоящего из узлов и соединяющих их линий. При этом дерево как бы перевернуто — его корневой узел находится вверху. Каждый узел соответствует одной из возможных позиций, т. е. тому или иному расположению фигур на шахматной доске, которое может быть достигнуто после определенного числа ходов, дозволенных правилами. Узел соединяется со своим «потомком» линией в том случае, если позиция, представляемая последними, получается из той, которая ей предшествовала до того, как был сделан один ход фигурой или пешкой. На шахматном дереве всякую партию можно отождествить с каким-нибудь одним конкретным путем, ведущим из корневого узла (соответствующего исходной позиции, когда еще не было

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

сделано ни одного хода) к какому-то конечному узлу, представляющему, как правило, такую позицию, в которой на шахматной доске остается лишь несколько фигур и одна из сторон либо получает мат, либо вынуждена сдаться.

Программа, играющая в шахматы, должна исследовать по возможности лишь ту часть игрового дерева, которая оказывается необходимой. Исходя из узла, представляющего позицию, сложившуюся в игре на данный момент, она исследует все узлы — потомки данного (слой 1), затем все узлы — потомки этих потомков (слой 2) и т. д. Средняя глубина исследования дерева игры является мерой «интеллекта» программы, под которым понимается ее способность наперед видеть возможные позиции и производить их оценку на каждом уровне дерева. Программа анализирует позиции и каждой из них ставит в соответствие определенное числовое значение, которое отражает степень «выгодности» достижения этой позиции. Пользуясь так называемой минимаксной процедурой, программа возвращает некоторые из полученных значений вверх по дереву на слой 1. Узел, получивший наибольшее значение, и определяет следующий ход.

Существует довольно интересная связь между двумя упомянутыми составляющими, которые определяют интеллект программы: чем лучше механизм оценивания позиций, тем меньше необходимая глубина исследования дерева игры. На самом деле если бы программа обладала идеальной схемой оценивания, то ей никогда не потребовалось бы просматривать дерево глубже, чем на один слой. В то же время программа с очень простой схемой оценивания, чтобы демонстрировать достаточно хорошую игру, должна просматривать дерево глубже. Возникает вопрос: насколько глубоким должен быть поиск при оценивании позиций только с точки зрения обеспечения материального преимущества, чтобы программа могла успешно соперничать с игроком гроссмейстерского класса? Достаточно ли будет 20 слоев?

Звание гроссмейстера присваивается международной шахматной федерацией игрокам, отличившимся в международных соревнованиях (федерация не рассматривает результаты, достигнутые компьютерами). Гроссмейстеры обычно имеют «рэйтинг» выше 2400 баллов. К началу чемпионата Северной Америки по шахматам среди компьютеров HITECH сыграла 21 партию в турнирах с шахматистами высокого класса и набрала 2233 балла. Это самый высокий в мире результат, достигнутый компьютером. По словам Берлинера, имевшего в свое время рэйтинг 2443 балла, рэйтинг HITECH возрастал в среднем на 8 баллов за игру на турнирах, проводившихся в США. Означает ли это, что через двадцать с лишним игр машина превзойдет своего создателя?

В связи с этим невольно задаешься вопросом, насколько хорошими игроками станут в конце концов компьютеры. Станет ли компьютер когда-либо лучшим в мире шахматистом? Д. Леви, в прошлом шахматист, а теперь бизнесмен и литератор, не раз заключал пари в спорах по данному вопросу. В 1968 г. он поспорил на 500 долл. с Дж. Маккарти из Станфордского университета, утверждая, что на протяжении следующих 10 лет ни одному компьютеру не удастся его обыграть. В августе 1978 г. на канадской выставке в Торонто Леви получил свои 500 долл. Там он выиграл соревнование с программой CHESS 4.5, созданной в Северо-Западном университете. На следующие 6 лет Леви заключил пари уже на 6000 долл. В апреле 1984 г. Леви, находясь в Лондоне, сыграл по телефону матч с CRAY BLITZ и опять выиграл.

Удача воодушевила Леви до такой степени, что он предложил в Денвере новое пари на сумму 100 тыс. долл.: в течение следующих 10 лет любой компьютер будет побежден игроком — человеком, которого выберет Леви. Если кто-нибудь примет пари Леви, то, наверное, выставит против него не просто программу, а специализированный компьютер. Пока желающих заключить это пари не нашлось.

Два лучших участника Североамериканского турнира, HITECH и BEBE, по существу представляют собой такие шахматные машины. Интересно отметить, что программа, выставленная самим Леви, INTELLIGENT SOFTWARE, заняла на турнире третье место. Она написана для компьютера Apple IIe, в котором нет

ПРОГРАММА	РАЗРАБОТЧИК	КОМПЬЮТЕР	ЯЗЫК	ПОЗИЦИЙ/С	ГЛУБИНА, ЧИСЛО СЛОЕВ
AWIT	Университет Альберта	Amdahl 5860	Алгол	10	3
BEBE (2-е место)	SYS-10, Inc. (Хоффман-Эстейтс, шт. Иллинойс)	Специализированная машина	Ассемблер	20 тыс.	7
CHAOS	Мичиганский университет	Amdahl 5860	Фортран	70	4
CRAY BLITZ	Южно-Миссисипский университет	CRAY X-MP 48	Фортран/Ассемблер	100 тыс.	8
HITECH (1-е место)	Университет Карнеги—Меллона	Sun (на спец. СБИС)	C	175 тыс.	8
INTELLIGENT SOFTWARE (3-е место)	Intelligent Software, Inc. (Лондон)	Apple IIe с акселератором	Ассемблер	500	7
LACHEX	Лос-Аламосская национальная лаборатория	CRAY X-MP 48	Фортран/Ассемблер	50 тыс.	7
OSTRICH	Университет Мак-Гилла	Сеть из 7 ЭВМ Nova и Eclipse	Ассемблер	1200	6
PHOENIX	Университет Альберта	Сеть из ЭВМ VAX 780 и 10-ти Sun	C	540	6
SPOC	Фирма SDI/Cypress Software (Сан-Хосе, Калифорния)	IBM PC	Ассемблер	300	5

Участники чемпионата Северной Америки 1985 г. по шахматам среди компьютеров

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

никаких изощренных аппаратных средств, за исключением платы акселератора, представляющей собой электронную схему, удваивающую быстродействие машины. Вероятно, Леви удалось разработать лучшую схему оценивания позиций.

Шахматные знатоки, присутствовавшие на чемпионате, сходятся на том, что лучшая партия на чемпионате была сыграна во втором туре между CRAY BLITZ и BEBE, продуктом коммерческого предпринимательства. Т. Шерцер из компании SYS-10, Inc., разработавший BEBE, возил свое изобретение на несколько турниров, состоявшихся в последние годы. BEBE — это не просто программа, а специализированная шахматная машина. Упомянутая партия имела важное значение не только потому, что была наиболее интересной на чемпионате, но и потому, что в ней CRAY BLITZ потерпела первое поражение за три года.

Читатели, располагающие шахматной доской, могут проследить за игрой между CRAY BLITZ и BEBE, рассмотрев 50 ходов, приведенных ниже. Фигуры обозначены заглавными буквами: Кр — король, Ф — ферзь, С — слон, К — конь, Л — ладья. Клетки, или поля, шахматной доски обозначаются буквенными и цифровыми координатами. Если доска установлена перед вами так, что нижнее левое поле черное, то по горизонтали поля нумеруются слева направо латинскими буквами a, b, c, d, e, f, g, h, а по вертикали — цифрами от 1 до 8 снизу вверх. Обозначения, применяемые для записи ходов игры, как это приведено ниже, иногда совершенно однозначны, например Kpb1 (король ходит на поле b1), а иногда не совсем понятны, например Kf3 (конь ходит на f3). Какой из двух коней? В данном случае лишь один конь может ходить на поле f3. Ход пешки обозначается просто указанием поля, на которое она ходит, скажем e4. Партию записал Валво:

	CRAY BLITZ (белые)	BEBE (черные)
1.	e4	c5
2.	Kf3	d6
3.	d4	cd

(Обозначение cd означает, что пешка с поля c бьет пешку на поле d.)

4.	K:d4	Kf6

(Знак «:» означает, что фигура бьет фигуру или пешку противника.)

5.	Kc3	g6
6.	Cg5	Cg7
7.	Фd2	Kc6
8.	0—0—0	0—0

(Рокировка: у белых на ферзевом фланге, у черных на королевском.)

9.	Kb3	Ле8
10.	Cc4	Kg4

Черные сыграли Kg4, готовясь к тому, чтобы затем сыграть 11...C:c3. Черные, наверное, считали, что после этого белые вынуждены будут сыграть 12.bc. Однако черные, должно быть, передумали, проанализировав другой возможный ход белых. Если C:c3, то Ф:c3! Ход K:f2 станет бессмысленным, если одна из ладей белых сыграет на f1, в то время как ход белых C:f7+ (шах) был бы для черных роковым.

11.	h3	Kge5
12.	Cb5	a6
13.	Ce2	a5
14.	Cb5	Ce6
15.	Kd5	a4
16.	Kd4	Cd7

Положение белых становится отчаянным. Пешка черных (a4) создает угрозу на королевском фланге белых.

17.	K:c6	bc
18.	K:e7+	Л:e7
19.	C:e7	Ф:e7
20.	Ce2	Фe6
21.	Kpb1	Лb8

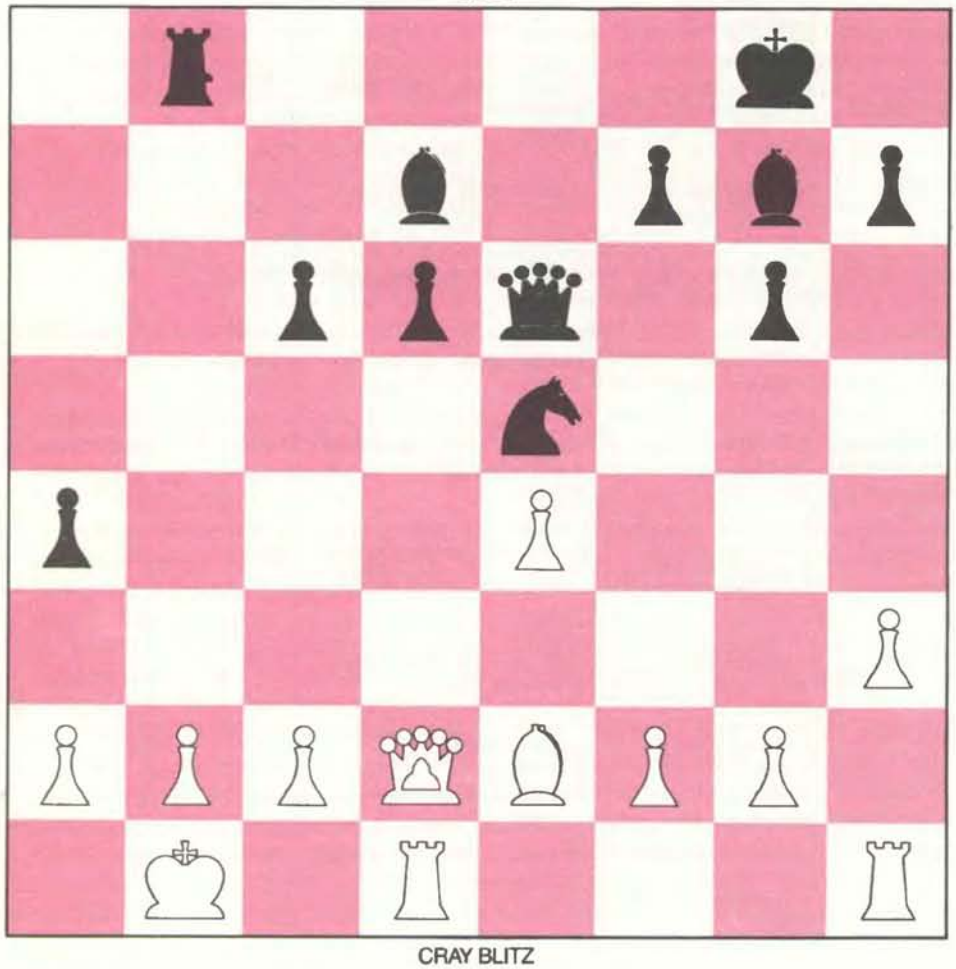
(Положение фигур на доске после 21-го хода показано на рисунке слева.) Черные угрожают ходом 22...Лb2+, затем последует 23. Kpb2 Kc4, «вилка», в результате которой белые проигрывают ферзя.

22.	b3	ab
23.	cb	Ce8
24.	Kpc2	Kd7
25.	f3	Ла8
26.	Kpc1	Kc5
27.	Фc2	Фf6
28.	Cc4	Фa1+
29.	Kpd2	Ф:a2

Более сильный ход был бы 29...Cc3+, шах, за которым последовал бы 30. Крe2 Л:a2!

30.	Ф:a2	Л:a2+
31.	Kpc1	d5
32.	ed	cd
33.	C:d5	Cb5
34.	Лhe1	Kd3+

BEBE



CRAY BLITZ

Положение после 21-го хода

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NAROD.RU

Материальный перевес черных на одну фигуру может стать ощутимее в результате очередного размена. В игре шахматистов в этой позиции белые, наверное, признали бы себя побежденными.

35.	Л:d3	C:d3
36.	Ле8+	Cf8
37.	g4	Крg7
38.	Ле3	Са3+
39.	Крd1	Ла1+
40.	Крd2	Cf1
41.	Крс3	Лс1+
42.	Крd2	Лс5
43.	Крe1	C:h3
44.	Сс4	h5
45.	gh	gh
46.	Крf2	h4
47.	Лd3	Cf5
48.	Лd4	h3
49.	Лh4	Лс7

Сделав ход 50. Лh5, белые сдались.

Программа CRAY BLITZ выполняется на компьютере CRAY XM-P 48. Славящийся своим быстродействием и большим числом процессоров CRAY тем не менее представляет собой универсальную ЭВМ, а не специализированную шахматную машину. Очевидно, система BEBE, аппаратные средства которой специально предназначены для игры в шахматы, превзошла комбинацию машины CRAY и программы CRAY BLITZ.

Система HITECH в определенном смысле еще более специализирована. Когда Университет Карнеги — Меллона был еще Технологическим институтом Карнеги, там была разработана программа TECH, играющая в шахматы. Имя HITECH отражает тот факт, что Берлинер, Кемпбелл и другие ее разработчики: К. Эбелинг, Г. Гетш, Э. Пэлей и Л. Сломер, приспособили заложенные в программе TECH принципы к новой технике на сверхбольших интегральных схемах (СБИС) и с параллельным режимом работы. Машина HITECH представляет собой компьютер Sun с процессором специальной конструкции, который Берлинер называет поисковым. Компьютер Sun выполняет три программы: интерфейс с пользователем, управляющую программу и программу «оракул». Последняя представляет собой то, что специалисты в области шахматных программ называют «книгой». Это обширный каталог известных в шахматной литературе дебютов и их вариаций. База данных оракула содержит также значительный объем других сведений из теории шахмат, которые нетрудно пополнять. Когда поисковый процессор исследует возможные варианты развития игры из заданной позиции, он прибегает к этой информации и с помощью оракула выбирает ту, которая имеет отношение к данной позиции.

Сам же поисковый процессор состоит из микропроцессора и нескольких аппаратных модулей, которые генерируют ходы, оценивают их, проверяют, не повторяются ли ходы, и т. д. Микропроцессор координирует действия, выполняемые этими модулями. Генератор ходов состоит из 64 СБИС, по одной микросхеме на каждое поле шахматной доски. Каждая микросхема «просматривает» всю доску, чтобы определить, может ли какая-нибудь фигура или пешка пойти на контролируемое ею поле. Она определяет наилучший ход, пользуясь такими стандартными критериями, как возможность взятия фигуры или пешки противника или обеспечение господства в центре доски. Одновременно другие 63 микросхемы заняты той же работой (параллельный режим). Если на доске 10 фигур, то подобная архитектура аппаратных средств означает, что ходы генерируются в 10 раз быстрее при прочих равных условиях.

Процедура оценивания должна вовремя поспевать за генерацией ходов. На первой стадии оценивание производится самим генератором ходов. В нем содержится своего рода «эксперт», который оценивает все ходы, генерируемые каждой из 64 микросхем. Каждая такая микросхема вычисляет значение, характеризующее силу наилучшего из рассмотренных ею ходов и передает это значение выбирающему ход «эксперту». Числа, генерируемые микросхемами, дублируются привлекающими внимание звуковыми сигналами. «Эксперт» располагает их в порядке громкости (т. е. эффективности ходов).

Затем HITECH приступает к поиску на игровом дереве, следуя вариантам, выбранным «экспертом» из всех возможных в данной позиции. Затем производится еще одно оценивание, теперь уже для каждой новой позиции, генерируемой на дереве игры. Пользуясь познаниями шахматной теории (поставляемыми оракулом), применимыми к данной позиции, модуль оценивания рассматривает каждую из них независимо от того, находится ли эта позиция на горизонте средней глубины просмотра или нет. В этом заключаются преимущества и сама сущность параллелизма — дополнительная работа не требует дополнительного времени. Управляющая программа компьютера Sun сообщает поисковому процессору, на какую глубину следует исследовать дерево игры и нужно ли продолжить поиск на бóльшую глубину, когда это

Как поставить мат, имея ладью и короля?

исследование закончено. Таким образом системе HITECH удается достичь средней глубины просмотра, равной 8 слоям, а в отдельных случаях проводить исследование вплоть до 14 слоев. Все же эти цифры могут показаться еще далекими от 20 слоев, потребность в которых не исключена для победы над гроссмейстером. В то же время параллельный режим работы HITECH и довольно умелое использование теоретических положений о решении шахматных комбинаций в процессе исследования дерева игры могут компенсировать относительно небольшую глубину поиска. Во всяком случае, на следующем чемпионате мира по шахматам среди компьютеров, который состоится в Колоне (ФРГ) в июне этого года, HITECH, по-видимому, будет одной из сильнейших претенденток на звание чемпиона.

HITECH — новейшая в мире шахматная машина. А первая машина для игры в шахматы была изобретена в 1890 г. испанским инженером Л. Торресом-и-Кеведо. Используя механические рычаги, блоки и электромеханические переключатели, она играла ладьей и королем против короля. Сопернику отводилась роль манипулирования «голым» королем, чтобы избежать мата. Машина Торреса-и-Кеведо всегда выигрывала.

Предлагаем читателям самим построить алгоритм стратегии машины, играющей двумя указанными фигурами против короля противника. Естественно, следует предполагать, что король, которым играет человек, в исходной позиции не находится в положении «пат» (т. е. у него есть по крайней мере один ход, при котором он не попадает под шах). Задача, таким образом, заключается в том, чтобы указать, пользуясь как можно меньшим числом различных правил,

WWW.SCIAM-MAGAZINE.NARODRU

что должна делать машина, чтобы поставить мат из произвольного исходного положения. Позицию на доске, показанную на с. 97, можно принять за исходную.

Машина играет белыми и должна ходить первой. Как можно поставить мат черному королю, пользуясь ладьей и королем? Белые могли бы, например, начать с хода ладьей на поле d. После этого черный король не сможет уйти левее поля e. Маневр можно повторить, если король черных послушно уйдет вправо. Но что, если он останется на поле e, курсируя по нему то вверх, то вниз? Лучшее решение будет опубликовано независимо от того, будет ли оно алгоритмическим или описательным, т. е. выраженным на естественном языке.

В ЯНВАРСКОМ номере журнала в рубрике «Занимательный компьютер» речь шла о флибах — конечных «живых организмах», пытающихся предсказывать изменения в окружающей их среде. В первобытном компьютерном бульоне лучший представитель каждого поколения скрещивает свои хромосомы со случайно выбранным флибом. В результате эволюционного процесса возникают все более удачливые предсказатели, пока на свет не появляется организм, безошибочно предсказывающий изменения в среде.

По существу, флиб представляет собой конечный автомат. Другими словами, он обладает конечным числом состояний и для каждого принимаемого им сигнала (0 или 1) он вырабатывает ответный сигнал и переходит в новое состояние. Сигнал, генерируемый флибом на каждом цикле процесса, является предсказанием следующего сигнала, который должен быть им получен из внешней среды.

Некоторые читатели поставили перед своими флибами непосильные для них задачи. Никакая эволюция не породит флиба, способного предсказывать последовательности случайно генерируемых битов. Точно так же никогда не возникнут флибы, предсказывающие простые числа. От них можно требовать предсказания периодически повторяющихся двоичных последовательностей. Например, существует флиб с четырьмя состояниями, предсказывающий повторяющуюся восьмисимвольную последовательность 01100010. Однако даже повторяющаяся последовательность может выйти за пределы предсказательной способности флиба, если основная цепочка окажется слишком длинной по отношению к числу его состояний. На самом деле ни один флиб с четырьмя состояниями не сможет предсказать повторяющуюся последовательность 010010111. Почему?

Простейший ответ на этот вопрос можно получить с помощью процедуры, которую я называю «ползучей индукцией». Представим себе флиб с одним состоянием. Он может предсказать бесконечно повторяющуюся основную последовательность 01. Для каждого из двух возможных сигналов, получаемых флибом, он вырабатывает один ответ: получив на входе 0, флиб отвечает 1 и переходит в то же самое состояние. Если он получает 1, то в ответ вырабатывает 0. Цепочка из трех символов, скажем 011, выходит за пределы возможностей флиба с одним состоянием просто потому, что автомат не имеет в своем наборе достаточного количества ответов. В то же время флиб с двумя состояниями располагает четырьмя возможными ответами, по два на каждое состояние. Таким образом, он может предсказать цепочку из четырех символов, но не справляется с цепочкой из пяти символов: когда дело доходит до пятого символа, флиб должен повторить один из своих предыдущих ответов. Принцип доказательства ясен. Флиб с n состояниями может предсказать последовательность, состоящую из $2n$ символов, но не $2n + 1$. Можно найти приятное развлечение в том, чтобы составить последовательность из 8 бит, а затем сконструировать флиба, который ее предскажет. Совершенный предсказатель, полученный таким образом, будет единственным в своем роде. Об успехе программы AUTOSOUP можно судить, сравнивая совершенного предсказателя, порожденного программой в ходе эволюции, с флибом, который уже был построен «вручную».

Несколько читателей придумали, как можно ускорить работу программы AUTOSOUP. Например, практически не имеет смысла проверять существующую на данный момент популяцию флибов на последовательности из 100 символов, если основная цепочка содержит лишь 6 символов. В результате однократного повторения цепочки будет задана последовательность из 12 символов, которой оказывается вполне достаточно.

Ф. Каарет из Принстонского университета указал также на то, что количество команд в программе можно уменьшить, если оценивать показатели только двух флибов при каждом выполнении основного цикла, а не всей популяции. В конце концов, измениться могли лишь (самое большее) два флиба: флиб с наихудшим результатом был заменен новым гибридом и еще один флиб, который, возможно, был поражен космическим лучом.

Ускорение, полученное путем сокращения тестовой последовательности символов окружающей среды и за счет устранения теста для старых флибов, приблизительно одно и то же. Теперь у нас должно хватить времени для того, чтобы получить в результате эволюции флибы с n состояниями, способные предсказать повторяющиеся цепочки символов длиной до $2n$.

Из письма Э. Кудала из Парк-Риджа (шт. Иллинойс) мы узнали, что ему неприятно было посылать последнего флиба прямо на тот свет. Вместо этого он стал скрещивать на каждом цикле худшего флиба с лучшим. Следуя этой схеме, Кудал смог менее чем за 40 поколений вывести флибов, способных предсказывать цепочки из шести символов.

Издательство **МИР** *предлагает:*

Ж.-П. Пети
О ЧЕМ МЕЧТАЮТ РОБОТЫ?

Перевод с французского

Оригинальное изложение основных тенденций развития роботов с программным управлением, адаптацией и элементами искусственного интеллекта, построенное на многочисленных забавных иллюстрациях. Однако такая занимательность подачи материала не означает элементарности содержания. Например, автор вводит читателя в мир основополагающих идей Нойберта Винера и Дж. фон Неймана, на основе которых в ближайшие годы будут создаваться сложные робототехнические комплексы.

1986, 12 л. Цена 85 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МИР